

接着接合体の熱応力に及ぼす樹脂物性の影響 ～3次元境界要素法による検討～

三菱電機 (株) 材料デバイス研究所 ○春名一志 原賀康介 森脇紀元
三菱電機 (株) 生産技術研究所 西川哲也

Effect of resin properties on thermal stress of Adhesions.

- Studying by The 3-D Boundary Element Method -

Mitsubishi Electric Corp. Kazushi HARUNA*, Tetsuya NISHIKAWA,
Kosuke HARAGA and Toshimoto MORIWAKI

1. 緒言

一般に熱硬化性樹脂を接着剤に用いて接着接合を行なう際には、一旦、硬化温度まで昇温した後、冷却するという過程を経る。そして冷却過程においては、各材料に拘束された状態での収縮が生じるため、拘束された収縮は内部応力として蓄積される。この内部応力は、塗料やコーティングでは亀裂や剥離、鋳型や封止では亀裂やボイドの発生の他、埋封部品の破壊などを引き起こす。また接着においては被着体の変形や剥離、複合材料では層間剥離などの原因になると考えられ、大きな問題となっている¹⁾。また、適用する接着剤によって発生する内部応力に差異があると考えられ、接着剤を適用する場合には、それらの材料物性が接合体の内部応力に及ぼす影響を明らかにする必要があると考えられる。

そこで本研究では、接着剤の材料物性が接合後の変形や内部応力に及ぼす影響を検討するため3次元境界要素法 (Boundary Element Method : BEM) による熱応力解析を行なった。本報では、最初に実測値との比較により解析の精度を確認した後、解析モデルの樹脂に相当する部分の弾性率および線膨張率を変化させ、それぞれの影響を検討した。その結果、極薄層である接着層の影響は予想以上に大きい事が明かとなるとともに、弾性率と線膨張率とでは影響の及ぼし方が異なる事が明かとなった。

2. 解析精度の検証

2.1 実測方法および解析方法

実測および解析対象用として図1に示すようなサンプル形状および寸法とした。本サンプルは、被着体としてガラスおよびリン青銅を用い、エポキシ樹脂によって接着接合したものとした。用いたエポキシ樹脂は、エイブルボンド AV789-3 (日本エイブルスティック (株)) を用いた。AV789-3のガラス転移温度および硬化条件は、それぞれ126°C、130°C/2時間であり、硬化収縮過程において内部応力が発生する要因として、ガラス状態での冷却収縮が支配的である事を理由に選出した。

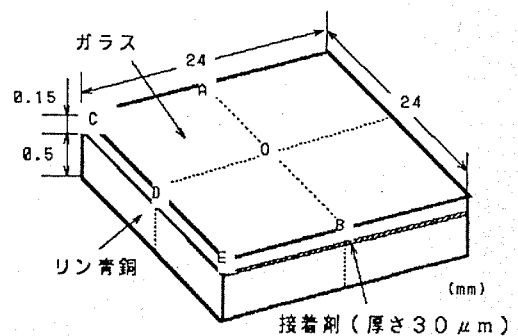


図1 用いたサンプル形状

接着後のサンプルの実測としては、変形量を対象とし、表面あらさ計 (DEKTAK) において図1中のA-O-B線上、C-D-E線上において変形量を測定した。

3次元熱応力解析は、当社開発品である境界要素法ソフト²⁾³⁾を用い、図2に示す要素分割、拘束条件で行なった。要素は4角形2次要素を用い、サンプルの対称性を利用して1/4を解析モデルとした。また、モデルの1層目はガラス層、2層目は樹脂層、3層目は銅層を表しており、表1に示す材料定数をそれぞれ有している。温度変化は、硬化温度126°Cから室温16°Cの-110°Cとして解析を行なった。

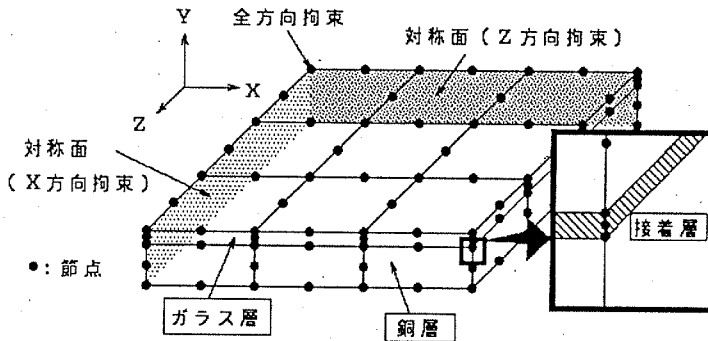


図2 用いた要素分割図

表1 用いた材料定数

	E[kgf/mm ²]	α [/°C × 10 ⁻⁶]	ν
ガラス	7500.0	8.0	0.24
AV789-3	157.2	63.0	0.30
リン青銅	12000.0	17.8	0.38

E:弾性率, α :線膨張率, ν :ポアソン比

2.2 実測結果および解析結果

本研究では解析結果であるY方向の変形量と実測による変形量を比較する事で解析結果の妥当性を評価した。図3に解析結果と実測値を比較した図を示す。図は実測位置である図1中のO-B線上ならびにD-E線上のY方向の変形量を示している。解析結果は実測値より若干大きくなっているが、樹脂の応力緩和などを無視して解析を行なっている事を考慮に入れるとほぼ妥当な解析解が得られていると考えられる。そのため本解析モデルによって樹脂物性の内部応力に及ぼす影響を検討した。

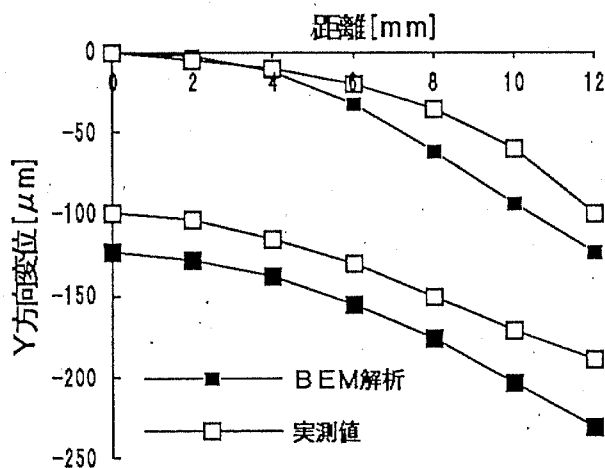


図3 解析結果と実測結果の比較

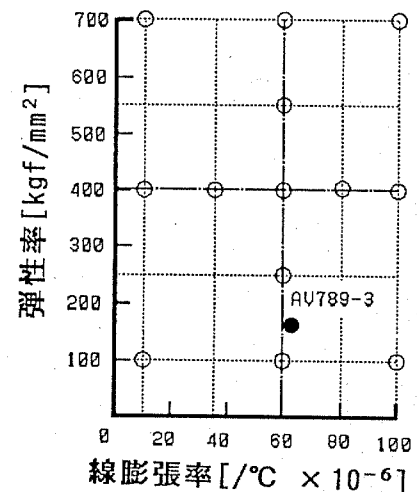


図4 接着層の物性値

3. 樹脂物性の影響

3.1 変形量に及ぼす影響

図4に、用いた樹脂モデルの弾性率と線膨張率とをプロットした図を示す。図中、●印が実測に用いたAV789-3であり、○印が解析により検討した物性値である。解析は、図2に示したモデルを用い、樹脂に相当する要素に、図4中○印で示した13種類の物性を与えて

解析を行なった。

最初にY方向の変形量の解析結果を示す。変形量の比較は、線膨張率を一定にして弾性率の影響を検討した場合、およびその逆について検討するため、図4中の1点鎖線について比較を行なった。

図5に線膨張率を一定($60 \times 10^{-6} / ^\circ\text{C}$)とし、弾性率を変化させた(100, 250, 400, 550, 700 kgf/mm²)場合の最大変形量と弾性率の関係を示す。変形量には、接着層の弾性率の影響が表れており、接着層の弾性率が増加すると変形は大きくなり、次第に飽和している。

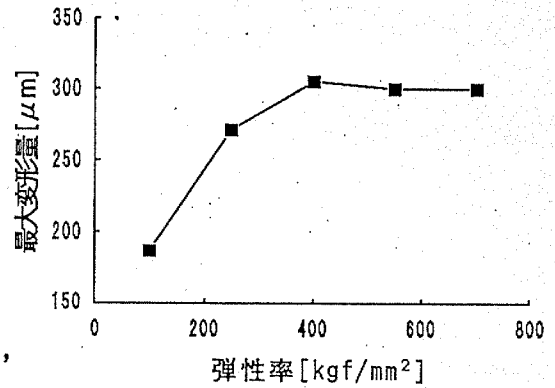


図5 最大変形量と弾性率の関係

図6には弾性率を一定(400 kgf/mm²)とし、線膨張率を変化させた(10, 35, 60, 80, 100 /°C × 10⁻⁶)場合の最大変形量と線膨張率の関係を示す。変形量には接着層の線膨張率の影響は表れておらず、変形量はほぼ一定の値を示している。したがって、樹脂の物性において弾性率はサンプルの変形に影響を及ぼすが線膨張率は影響を及ぼさないと考えられる。

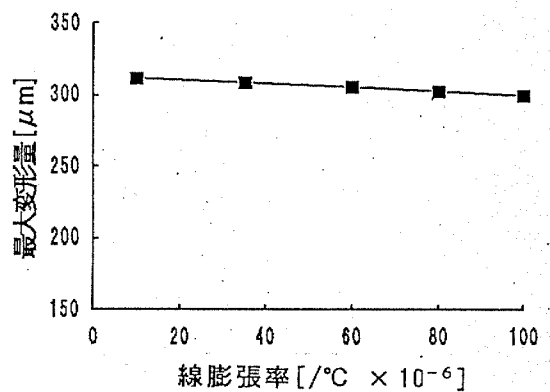


図6 最大変形量と線膨張率の関係

3. 2 内部応力に及ぼす影響

次に接着後の内部応力に及ぼす影響を検討した。応力はミーゼスの相当応力(Mises Equivalent Stress: σ_{eq})を用い、解析モデルのガラス、樹脂、および銅層の表面に生じている σ_{eq} に注目した。 σ_{eq} は(1)式により求めた。

$$\sigma_{eq} = \frac{1}{2} \{ (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + 6(\tau_{yz} - \tau_{zx} - \tau_{xy}) \} \dots (1)$$

図7に図4中の1点鎖線における弾性率、線膨張率の変化に伴う各層表面の σ_{eq} の最大値の変化を示す。接着層の弾性率が増加すると各層表面に生じている σ_{eq} も増加し、次第に飽和している。それに対して σ_{eq} と線膨張率の関係においては、線膨張率増加に伴って、ガラスおよび銅層の σ_{eq} はほとんど変化がみられないのに対し、接着層に生じている σ_{eq} のみが増加している。したがって、接着層の弾性率はサンプルの変形や各層の応力に影響を及ぼすのに対し、線膨張率は変形や被着体に生じる応力には影響を及ぼさず、接着層に生じる応力にのみ影響する事が明かとなった。

以上のように、弾性率と線膨張率の影響の仕方は異なっている事が明かとなったが、接着層に生じる σ_{eq} に関しては類似しており、弾性率、線膨張率が増加すると接着層に生じる σ_{eq} は増加する。そこでさらに接着層に生じる σ_{eq} について、その応力成分について検討を加えた。 σ_{eq} は(1)式により求めているため、(1)式中の各応力成分が占めている割合について検討した。図8に、図7に示した接着層表面の σ_{eq} における各応力成分の割合と弾性率、線膨張率の関係を示す。弾性率、線膨張率が増加していくと、支配的な応力成分が変化しており、せん断応力から垂直応力に移行している。このことより、接着層表面に

において破壊が発生する場合には、弾性率、線膨張率によって破壊モードが異なると考えられる。

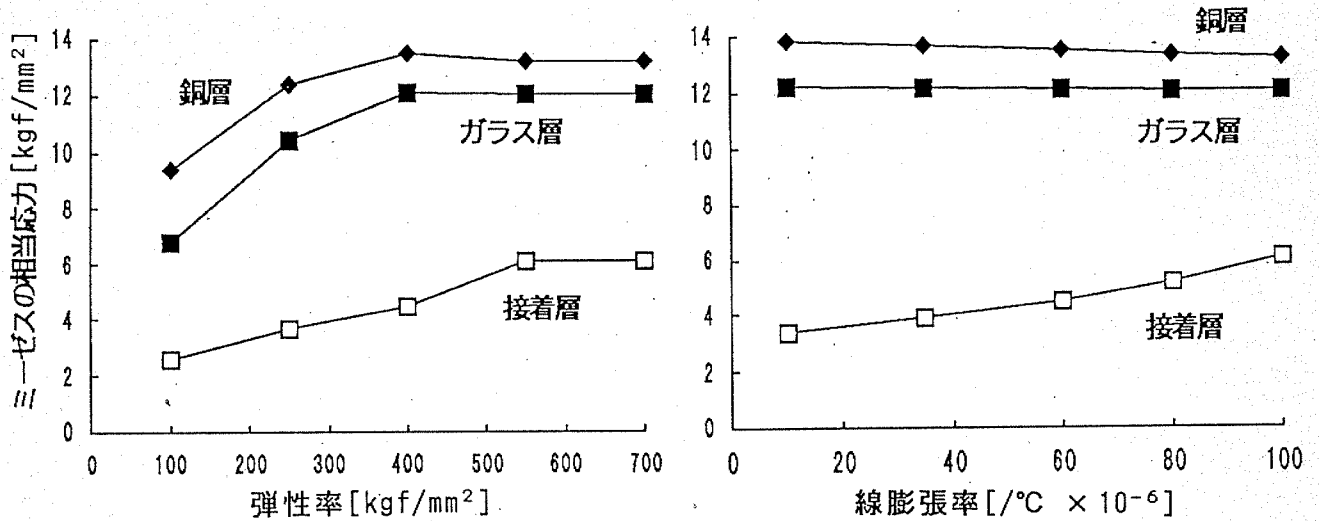


図7 各層表面における σ_{eq} の最大値と弾性率、線膨張率の関係

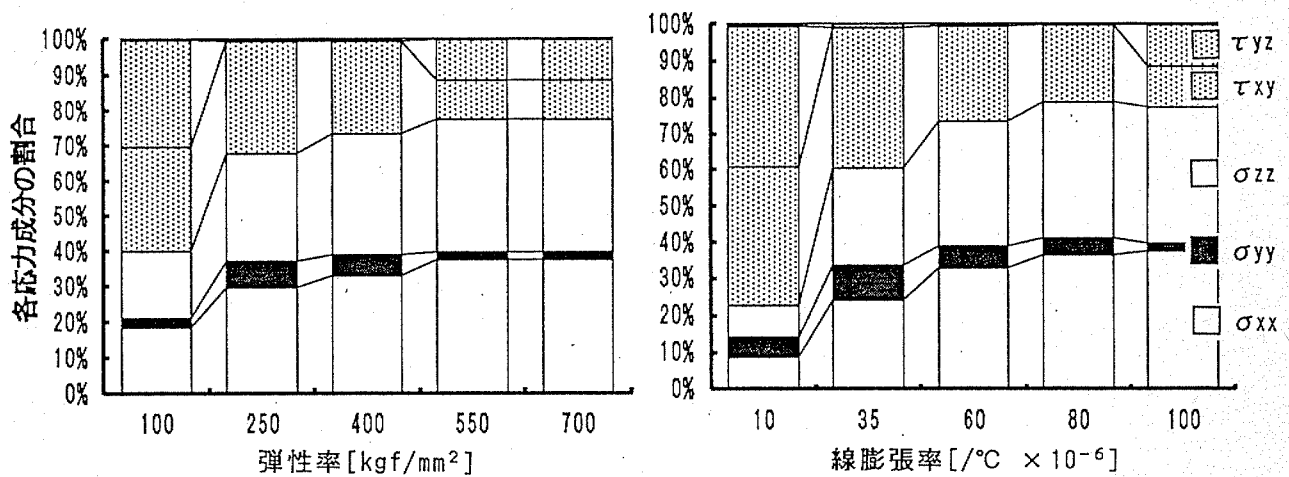


図8 接着層表面に生じる σ_{eq} における各応力成分の割合と弾性率、線膨張率の関係

4. 結言

3次元境界要素法を用いた熱応力解析において、極薄層である接着層に相当する要素の材料物性値を変化させ、接着後の熱変形および熱応力に及ぼす影響を検討した結果、接着層における弾性率は、サンプル全体の変形や各構成材料に生じる応力値に影響を及ぼし、それらは接着層の弾性率が高いほど大きくなるが、線膨張率は、接着層に生じる応力にのみ影響する事が明かとなった。また、接着層に生じる応力成分に注目すると、弾性率、線膨張率が増加するに伴って、支配的な応力成分は、せん断応力から垂直応力へと移行する事が明かとなった。

参考文献

- 1) 起智光一, 日本接着学会誌, 25, (9), p. 372 (1989).
- 2) 西川哲也, 原賀康介, 日本接着学会誌, 21, (4), p. 136 (1985).
- 3) 西川哲也, 原賀康介, 日本接着学会誌, 22, (8), p. 409 (1986).